TRANSFORMATIONS NUCLRAIRES

RADIOACTIVITE ET SES APPLICATIONS

Transformations nucléaires

- La radioactivité a été découverte par Becquerel en 1896. C'est est un phénomène physique naturel au cours duquel des noyaux atomiques instables se transforment spontanément par désintégration en des noyaux atomiques plus stables convertissant une partie de leur masse en énergie
- Noyau radioactif : capable de se désintégrer spontanément pour donner un autre noyau en émettant une ou plusieurs particules.
- Lors d'une transformation nucléaire, le nombre atomique Z et le nombre de masse A sont conservés (Lois de conservation de Soddy)

$$^{210}_{84}Po \longrightarrow {}^{206}_{82}Pb + {}^{4}_{2}He$$

-

$$^{27}_{13}Al + {}^{4}_{2}He \longrightarrow {}^{30}_{15}P + {}^{1}_{0}n$$

Types de radioactivité

- Radioactivité α : émission de la particule α = ${}^{4}_{2}He$

$$ {}^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y^{*} + {}^{4}_{2}He $$

${}^{A-4}_{Z-2}Y^{*}$ est le noyau produit à l'état excité, sa désexcitation s'accompagne de rayonnement γ.

$$ {}^{A-4}_{Z-2}Y^{*} \longrightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + \gamma $$

- Radioactivité β^- : émission de particule β^- = électron ${}^{0}_{-1}e$

$$ {}^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A}_{Z+1}Y^{*} + {}^{0}_{-1}e $$

${}^{A}_{Z+1}Y^{*}$ est le noyau produit à l'état excité, sa désexcitation s'accompagne de rayonnement γ

$$ {}^{A}_{Z+1}Y^{*} \longrightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + \gamma $$

- L'électron ${}^{0}_{-1}e$ provient de la transformation d'un neutron en proton
- $$ {}^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{1}_{1}p + {}^{0}_{-1}e $$

Types de radioactivité

- Radioactivité β^+ : émission de positron (ou positon) β^+ = anti – électron ${}^{0}_{+1}e$, concerne les noyaux artificiels uniquement.

$$ {}^{A}_{Z}X \longrightarrow {}^{A}_{Z-1}Y^{*} + {}^{0}_{+1}e $$

${}^{A}_{Z-1}Y^{*}$ est le noyau produit à l'état excité, sa désexcitation s'accompagne de rayonnement γ

$$ {}^{A}_{Z-1}Y^{*} \longrightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + \gamma $$

- Le positon provient de la transformation d'un proton en neutron

$$ {}^{1}_{1}p \longrightarrow {}^{1}_{0}n + {}^{0}_{+1}e $$

- Radioactivité γ: émission de particules γ (ou rayonnement γ)

$$ {}^{A}_{Z}X^{*} \longrightarrow {}^{A}_{Z}X + \gamma $$

Noyau excité

- Emissions α : Lorsque les nucléides lourds se transforment en nucléides plus légers, ils émettent des particules α qui sont des noyaux d'hélium $^{4}_{2}He$. Ces rayonnements sont peu pénétrants et peuvent être arrêtés facilement par une feuille de papier.
- Emissions β : Ces particules sont plus pénétrantes et ne sont arrêtées que par une mince feuille de plomb.
- Rayonnement γ : C'est un rayonnement électromagnétique constitué de photons de très grande énergie qui accompagne les émissions α et β. Ce rayonnement est arrêté par un obstacle en plomb de plusieurs centimètres d'épaisseur.

- Exemples :
- Émission α $\,^{232}_{90}Th \longrightarrow \,^{228}_{88}Ra + \,^{4}_{2}He$ + Energie
- Émission β⁺ $\,^{60}_{27}Co \longrightarrow \,^{60}_{26}Fe + \,^{0}_{+1}e$ + Energie
- Émission β⁻ $\,^{108}_{47}Ag \longrightarrow \,^{108}_{48}Cd + \,^{0}_{-1}e$ + Energie
- Émission γ $\,^{223}_{90}Th^{*} \longrightarrow \,^{223}_{90}Th + \gamma$ → rayons γ émis dus à la désexcitation

(rayons γ $\longrightarrow$ $\lambda \approx 10^{-12}$ m et $\nu \approx 10^{20}$ Hz)

- Au cours d'une désintégration radioactive, un noyau père se désintègre spontanément en émettant :
- Un noyau fils,
- Une particule, α, β⁺ou β⁻,
- Et un rayonnement électromagnétique γ.

Energie d'une réaction nucléaire

- Au début du 20eme siècle, Einstein a proposé une relation de l'énergie : l'énergie est équivalente à la matière $E = m.c^2$ ($c=3.10^8$ m/s).
- Si on considère la réaction nucléaire :

$$ {}^{A_1}_{Z_1}X \rightarrow {}^{A_2}_{Z_2}Y + {}^{A_3}_{Z_3}W $$

- L'énergie libérée pour cette transformation :
- $\Delta E = \Delta m.c^2$ avec $\Delta m = \Sigma m_{produits} - \Sigma m_{réactifs}$
- Et $\Delta m = m({}^{A_2}_{Z_2}Y) + m({}^{A_3}_{Z_3}W) - m({}^{A_1}_{Z_1}X)$

- Exemple : $^{32}_{15}P \rightarrow ^{32}_{16}S + ^{0}_{-1}e$ +E radioactivité β^-
- On a Δm = m(S) + m(e) – m(P)
- =5,30763.10^{-26} + 9,1.10^{-31} - 5,30803.10^{-26}
- = -3,09.10^{-30} kg. Le signe est négatif car $\Sigma m_{produits} < \Sigma m_{réactifs}$ La différence de masse s'est transformée en énergie.
- ΔE=Δm.c^2 = -3,09.10^{-30}.(3.10^8)^2= -2,781.10^{-13} J
-
- $\Delta E = -\dfrac{2,781.10^{-15}}{1,6.10^{-19}}$ eV = -1,73.10^6 eV = -1,73 MeV.
- est l'énergie libérée par la réaction d'où le signe négatif



Stabilité du Noyau

Un noyau est stable quand il n'est pas radioactif c'est à dire il n'émet ni de particule α ni β ni onde γ. Cette stabilité est assurée par une énergie E appelée ***énergie de cohésion du noyau ou énergie de liaison des nucléons. C'est l'énergie qui sert à garder les nucléons (protons et neutrons) soudés entre eux. Einstein a évalué cette énergie par la relation :***

$\Delta E=\Delta m.c^2$ Δm est appelé défaut de masse

C, est la vitesse de la lumière dans le vide. $C= 3.10^8$ m/s

Δm =Masse calculée du noyau – masse expérimentale

Le noyau est composé de protons (Z p) et de neutrons (A-Z) n

$$\Delta m=(\Sigma m_p+\Sigma m_n)-m_{exp} = Z.m_{proton} + (A-Z).m_{neutron} -m_{exp}$$

Masse calculée du noyau **> masse expérimentale**

La stabilité du noyau dépend donc à la fois du numéro atomique Z et du nombre de masse A.

Pour mesurer la force des Interactions entre les nucléons dans un noyau, on considère l'énergie pour un nucléon et donc on divise l'énergie par le nombre total de nucléons c'est-à-dire par le nombre de masse A = Z + N.

$E_{cohésion}$ / A.

A cette échelle la masse est exprimée en unité de masse atomique (uma) et l'énergie en Électron Volte (eV)

Comment définir l'unité de masse atomique (uma) ?

Définition de l'u.m.a

Masse molaire du Carbone = 12 g/mol alors la masse d'un atome est $\frac{12}{N}$

$$1uma = \frac{m(^{12}C)}{12} = \frac{1}{12}\left(\frac{12}{N}\right) = \frac{1}{N} = \frac{1}{6{,}022\ \ 10^{23}}\ \text{g}$$

$$= \frac{10^{-3}}{N} = \frac{10^{-3}}{6{,}022\ \ 10^{23}}\ \text{kg}$$

$$1uma\ = 1{,}6606\ 10^{-24}\,g = 1{,}6606\ 10^{-27}\,kg$$

$$1uma\ = 1{,}6606\ 10^{-27}\,kg$$

Si Δm= 1uma, L'équivalent en énergie de l'uma se calcule par la relation E = ΔmC^2 = (1uma)C^2, soit :

$$1\boldsymbol{uma} = 1{,}66\ 10^{-27}\boldsymbol{kg}$$

$$\boldsymbol{E} = 1{,}6610^{-27}\, x9.10^{16}\, \boldsymbol{J}$$

On l'exprime généralement en électron volt (eV), sachant que 1eV= 1,6 10^{-19} Joule.

$$E_{ua} = 1{,}6610^{-27}.9.10^{16}\left(\frac{1}{1{,}6.10^{-19}}\right) = 931{,}5.10^{6}\,eV$$

$$E_{ua} = 931{,}5MeV$$

Il suffit donc d'exprimer m ou Δm en uma et la multiplier par 931,5 et on a directement l'énergie associée en MeV.

MeV = Mégaélectronvolt = 10^6 eV, c'est l'unité la plus utilisée dans le domaine des hautes énergies tel que le domaine nucléaire.

Grandeurs en uma.

1uma=1.66 10^{-27}kg

m_p= 1,6726.10^{-27}Kg = 1,00759 uma

m_n= 1,6749.10^{-27} Kg = 1,00896 uma

m_e=9,11.10^{-31}kg = 5,49.10^{-4} uma

On divise par 1,66 10^{-27} pour convertir le kg en u.m.a

L'énergie pour 1uma est

E=1uma…………..931,5 Mev

Exemple: Calculer (en MeV) l'énergie de cohésion du noyau pour l'isotope $^{115}_{49}\mathbf{Ln}$ (Z=49) sachant que la masse expérimentale de cet atome est de 114,904uma.

Ln possède 49 protons et 115 – 49 neutrons

$m_{calc} = 49\ m_p + (115 - 49)\ m_n$

$= 49\ .\ 1{,}6726.10^{-27} + 66.\ 1{,}6749.10^{-27}$

$= 1{,}9254540.\ 10^{-25}$ kg (sachant que $1\,\boldsymbol{uma} = 1{,}66\ 10^{-27}\ \boldsymbol{kg}$)

$= 1{,}925454\ 10^{-25} / 1{,}66\ 10^{-27} = 1{,}15953.10^{2}$ uma

Δm =Masse calculée du noyau – masse expérimentale

$\Delta m = 115{,}953 - 114{,}904 = 1{,}049$ uma $= 1{,}049 \times 1{,}66\ 10^{-27} = 1{,}742.10^{-27}$ kg

$\Delta E = 1{,}742.10^{-27}\ (3.10^{8})^{2} = 1{,}567.10^{-10}$ J $\qquad \Delta E = \Delta mc^{2}$

$= 1{,}567.10^{-10} / 1{,}602\ .10^{-19} = 978\ 152\ 309{,}6$ eV

$= 978{,}15.10^{6}$ eV $= 978{,}15$ MeV *Energie de liaison du noyau*

Ou $\Delta E = 1{,}049 * 931{,}5 = 977{,}3$ MeV

Exemple :

l'Oxygène, 8 protons et 8 neutrons, masse calculée Σ mp+Σmn =

8(1,672614 10^{-27}kg) + 8 (1,674920 10^{-27}kg) = 26,78886 10^{-27}kg,

m_{exp}= 26.569626 10^{-27} kg.

E de cohésion ***= (26,78886 10^{-27}–26.569626$10^{-27}$)*9 10^{16}=1,9731 10^{-11}***

Joule pour le noyau d'un atome, soit pour une mole d'atomes

E= 1,9731 10^{-11}x $\mathcal{N}$ = 1,9731 10^{-11}x 6,022 10^{23}= 1188,2 10^{10} joules.

- Exemple du $^{7}_{3}Li$:

- Energie de cohésion ou de liaison El $=\Delta E=\Delta m.c^2$
- Avec $\Delta m=Z.m_{(p)} + (A-Z).m_{(n)} - m_{exp}$
- Avec $m_{exp} = m(^{7}_{3}Li)$
- $m(^{7}_{3}Li)=7{,}0160$ u.m.a, $m(p) = 1{,}0073$ u.m.a
- $m(n)=1{,}0087$ u.m.a
- On a $\Delta m = 3.m(p) + 4.m(n) - m(^{7}_{3}Li) = 0{,}0407$ u.m.a
- On sait que 1u.m.a correspond à une énergie de 931,5 MeV. $(1uma=931{,}5.c^{-2})$
- El = 0,0407 x 931,5 MeV=37,9 MeV.

Comparaison de la stabilité de noyaux radioactifs

- Pour cela, on a besoin de calculer la grandeur $\frac{E_l}{A}$ qui représente l'énergie de liaison par nucléon.
- Pour ^{7}Li: $\frac{E_l}{A} = \frac{37,9}{7} = 5,42\ Mev \big/ nucléon$
- Pour ^{14}C $\frac{E_l}{A} = 7,085\ Mev \big/ nucléon$
- $\frac{E_l(^{14}C)}{A(^{14}C)} \rangle \frac{E_l(^{7}Li)}{A(^{7}Li)}$
- Plus l'énergie de liaison par nucléon est grande et plus la désintégration du noyau est difficile et plus le noyau est stable.
- Alors ^{14}C est plus stable que ^{7}Li.

La radioactivité naturelle est celle qui existe naturellement dans la nature.

Exemples de radioactivité naturelle :

Maison en granite :	4 milliards Bq, à cause du radon gazeux
Homme :	130 Bq/kg (soit ~ 10 000 Bq pour un adulte)
Eau de pluie :	0,5 Bq/kg
Eau de mer :	13 Bq/kg
Brique :	800 Bq/kg
Béton :	500 Bq/kg
Artichaut :	300 Bq/kg
Pomme de terre :	150 Bq/kg
Lait :	80 Bq/kg

La radioactivité artificielle est celle obtenue par bombardement de noyaux atomiques par des particules (neutrons, protons, particules α, électrons, positrons, …).

Exemples de radioactivités artificielles

Scintigraphie thyroïdienne :	0,037 10^{9} Bq
Scintigraphie osseuse :	0,55 10^{9} Bq
Scintigraphie myocardique :	0,074 10^{9} Bq
Combustible usé en sortie de réacteur:	10 milliards de 10^{9} Bq



Stabilité du noyau atomique :

1) Forces agissant dans le noyau :

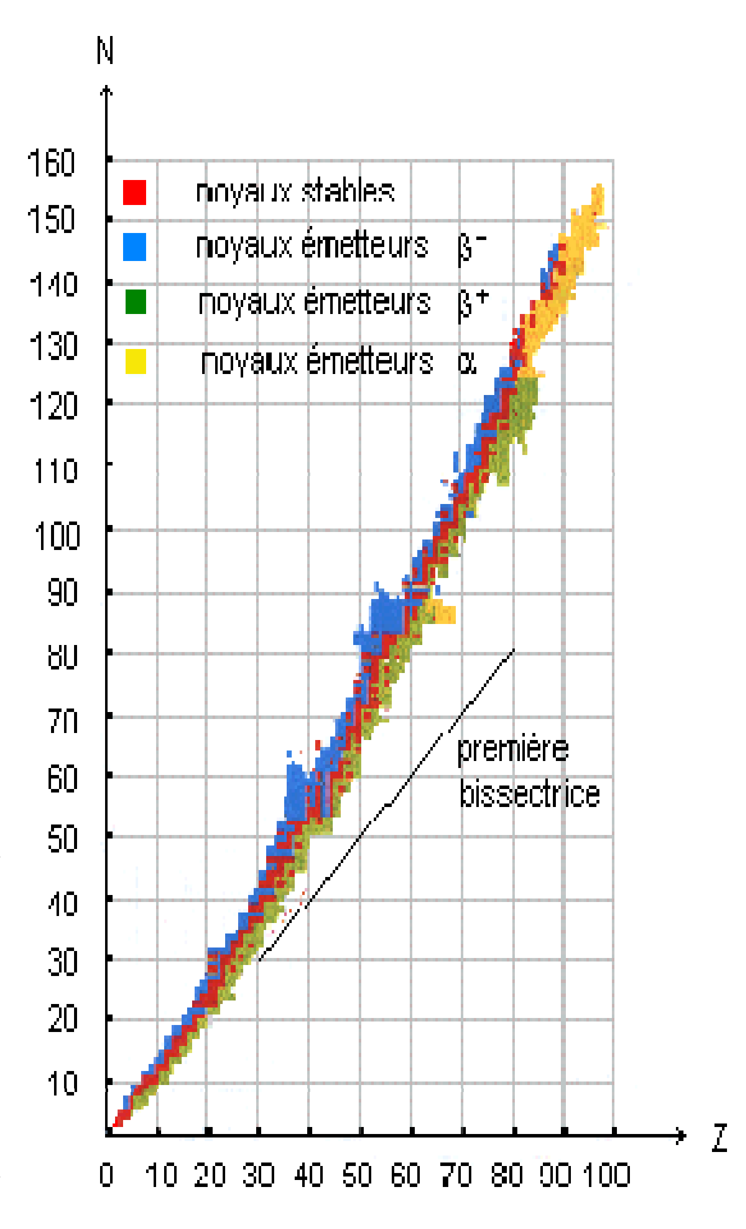
Dans un noyau atomique, il existe des forces électrostatiques répulsives entre les protons, des forces gravitationnelles attractives entre les nucléons et des forces nucléaires attractives d'interaction forte à courte portée (10^{-15}m) entre les nucléons qui assurent la cohésion de certains noyaux.

2) Stabilité du noyau : Sous l'action des différentes forces, des noyaux sont stables (ils ont une grande durée de vie) et d'autres sont instables (ils se détruisent rapidement).

Parmi les 1500 noyaux connus, seuls **260** sont stables.

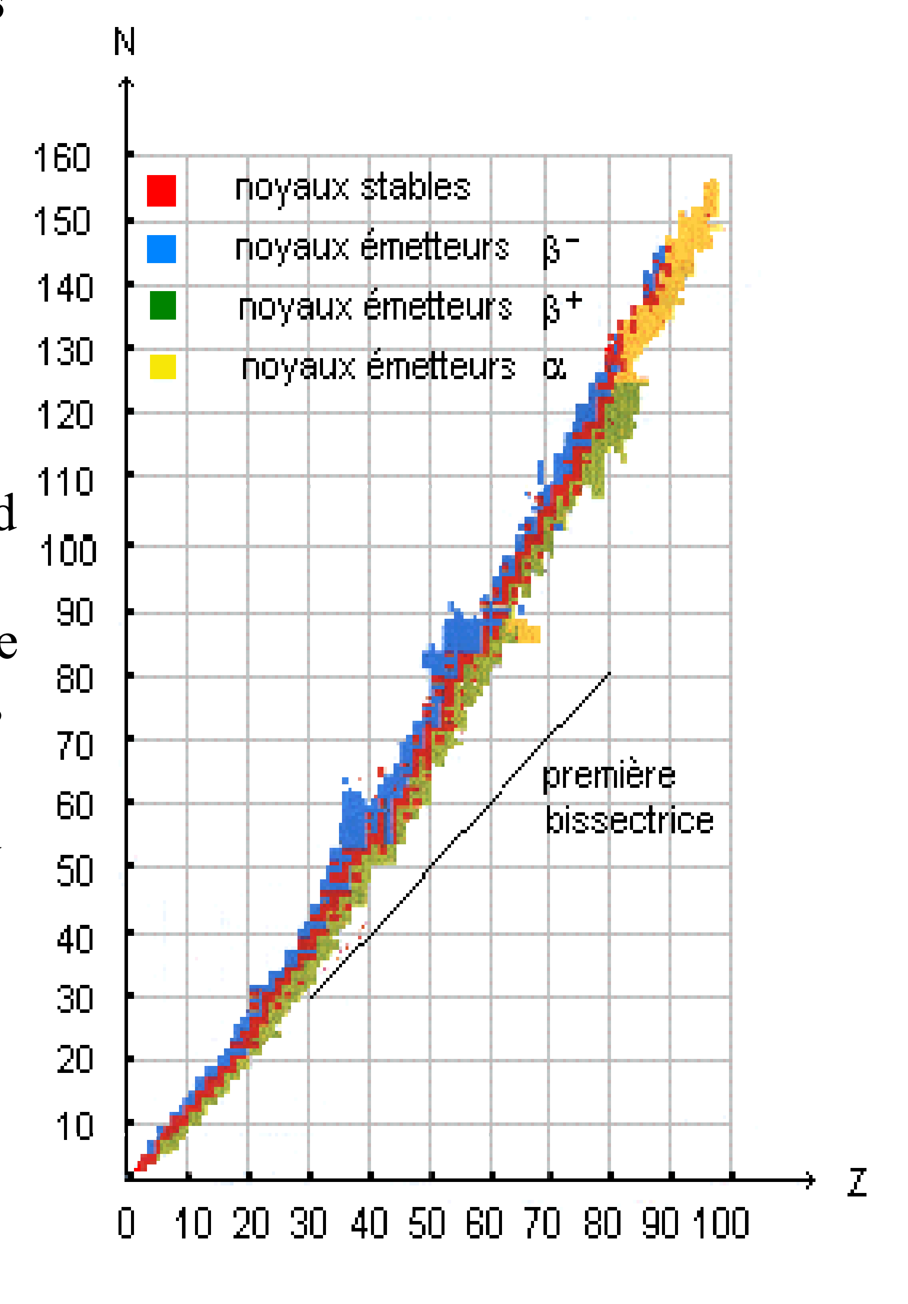
3) Vallée de stabilité des noyaux : (diagramme de stabilité)

On peut classer tous les noyaux connus dans un graphique appelé diagramme de Segré, représentant le nombre de neutrons N en fonction du nombre de protons Z .

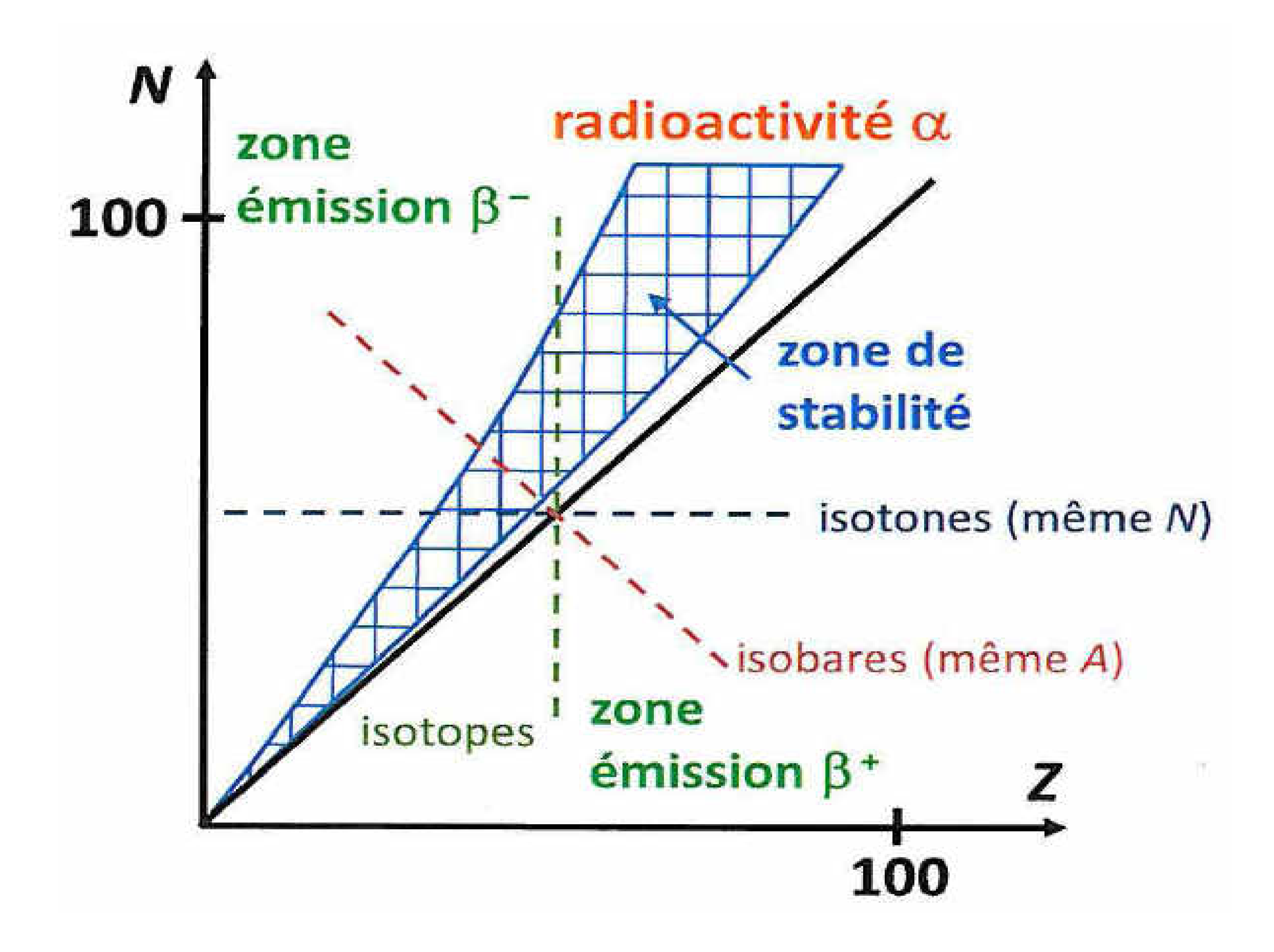




On distingue 4 zones de couleurs différentes



Une zone centrale rouge appelée vallée de stabilité est constituée des noyaux stables. On note que pour Z < 30 les noyaux stables sont situés près de la première bissectrice, pour lesquels N = Z. **Une zone jaune** où se situent des noyaux donnant lieu à une radioactivité de type **α**. Ce sont des noyaux lourds (A est grand A>180). **Une zone bleue** où se situent des noyaux donnant lieu à une radioactivité de type β^-. Ce sont des noyaux qui présentent un excès de neutrons par rapport aux noyaux stables de même nombre de masse A. **Une zone verte** où se situent des noyaux donnant lieu à une radioactivité β^+. Ce sont des noyaux qui présentent un excès de protons par rapport aux noyaux stables de même nombre de masse A. Les forces électrostatiques entre protons sont plus fortes que les forces nucléaires entre nucléons.


N
zone
émission β⁻
100
radioactivité α
zone de
stabilité
isotones (même N)
isobares (même A)
isotopes
zone
émission β⁺
Z
100

Désintégration nucléaire

Réaction spontanée ne nécessitant par d'apport d'énergie extérieur

Type	Alpha (α)	Bêta – (β-)	Bêta + (β+)
Cause	Excès de nucléons	Excès de neutrons par rapport aux protons	Excès de protons par rapport aux neutrons
Particule émise	${}^{4}_{2}He$	${}^{0}_{-1}e$	${}^{0}_{1}e$
Equation	${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}He$	${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e$	${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + {}^{0}_{1}e$



Loi de décroissance radioactive

- La radioactivité d'un noyau seul est aléatoire et non prévisible. Mais, la radioactivité d'un grand nombre de noyaux est prévisible et suit des règles.
- L'évolution du nombre de noyaux radioactifs présents dans un échantillon au cours du temps est donnée par:

$$\frac{dN}{N} = -\lambda . dt$$

- Décroissance nucléaire : $N(t) = N_0.e^{-\lambda.t}$
- $N(t)$: nombre de noyaux radioactifs restants non désintégrés
- N_0 : nombre initial de noyaux radioactifs
- λ: constante radioactive (constante de désintégration (s^{-1}))
- t : temps (s)

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt$$

En exprimant l'intégrale de chaque membre, on a:

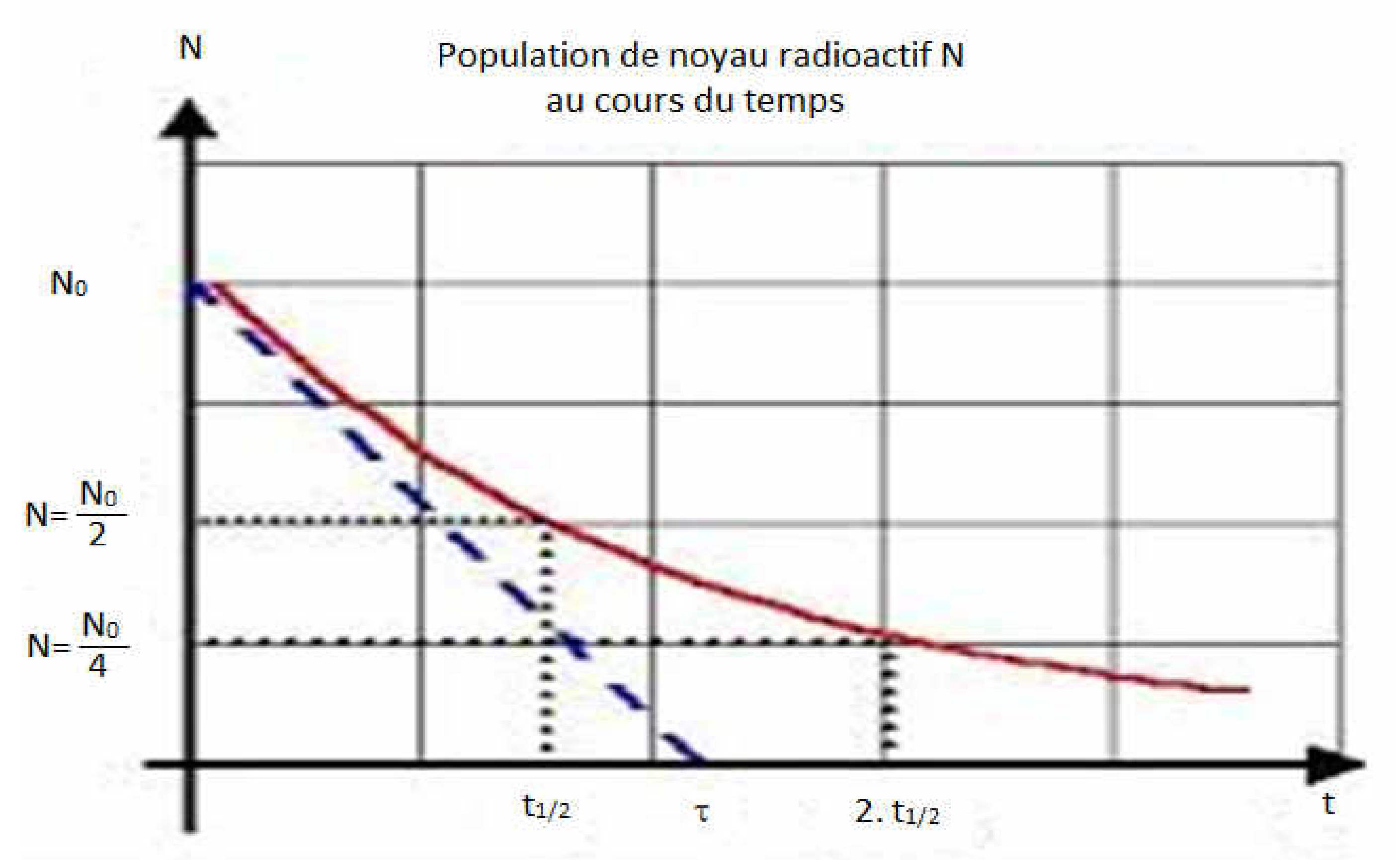
$$\int_{N_0}^{N} \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt \Rightarrow [\ln(N)]_{N_0}^{N} = -\lambda [t]_0^t$$

$$\Rightarrow \ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -\lambda . t \Rightarrow \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda . t}$$

$$N = N_0 . e^{-\lambda . t}$$ avec $$t = -\frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{N}{N_0}\right)$$

$$N(t) = N_0.e^{-\lambda.t}$$ est une fonction exponentielle décroissante

$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$ Avec τ constante de temps (s), déterminée en traçant la tangente à la courbe à l'instant t=0.



La demi-vie $t_{1/2}$ est le temps nécessaire pour la désintégration de la moitié d'un échantillon $\frac{N_0}{2}$ noyaux radioactifs.

Calcul de $t_{1/2}$ ou la période radioactive T

- $N(t_{1/2}) = \frac{N_0}{2}$

$$N(t_{\frac{1}{2}}) = N_0.e^{-\lambda.t_{\frac{1}{2}}}$$

$$\frac{N_0}{2} = N_0.e^{-\lambda.t_{\frac{1}{2}}}$$

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda.t_{\frac{1}{2}}}$$

$$\ln(\frac{1}{2}) = \ln(e^{-\lambda.t_{\frac{1}{2}}})$$

$$-\ln 2 = -\lambda.t_{\frac{1}{2}}$$

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\lambda} = T$$

Exemples de période radioactive :

^{214}Po : 164 µs; ^{15}O : 2 min ;

^{131}I : 8 jours ; ^{137}Cs : 30 ans ;

^{14}C : 5700 ans; ^{235}U : 710×10^6 ans;

^{238}U : $4,5 \times 10^9$ ans.

- Un noyau radioactif a une demie-vie de 1 s.
  Calculer sa constante de désintégration radioactive λ.

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{\frac{1}{2}}} = \frac{\ln 2}{1} = 0,693 \text{ s}^{-1}$$

-Un noyau X a une période T de 100 jours.
*Calculez la valeur de la constante radioactive λ en jour^{-1}.
*Calculez les pourcentages de la radioactivité qui restent après 60 jours et 130 jours.

Calcul de la constante radioactive :

$$\lambda = \text{Ln } 2 / T = (0,693 / 100) = 6,93\ 10^{-3} \text{ jours}^{-1}$$

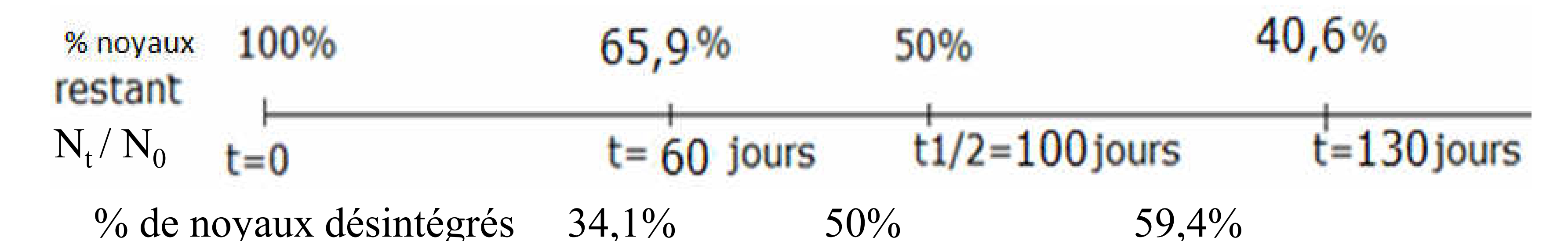
2. La loi de décroissance radioactive intégrée s'écrit :

$$N_t = N_0 . e^{-\lambda . t} \qquad \text{avec : } N_0 = 100\%$$

N_t est le nombre restant de noyaux

pour 60 jours : $N_t / N_0 = e^{(-6,93\ 10^{-3} \times 60)} = 0,659.$ $N_t = 65,9\ \%$

pour 130 jours : $N_t / N_{0\,t} = e^{(-6,93\ 10^{-3} \times 130)} = 0,406.$ $N_t = 40,6\ \%$



% de noyaux désintégrés 34,1% 50% 59,4%

Activité radioactive

- L'activité moyenne *A* d'un échantillon radioactif est le nombre moyen de désintégrations qui se produisent par seconde :

- $A(t) = -\frac{dN(t)}{dt}$ unité : Bq, le Becquerel

- 1 Bq = 1 désintégration par seconde (1des/s).
- Autre unité : ***le curie : activité d'1 g de radium***
- 1 Ci = 3,7 10^{10} Bq

- A(t)= $-\frac{dN(t)}{dt} = -\frac{d}{dt} N_0.e^{-\lambda.t} = \lambda N_0.e^{-\lambda.t}$
  $= \lambda.N(t)$
- à t=0 $A_0 = \lambda.N_0$ A_0 : activité initiale
- Et comme A(t) $= \lambda N_0.e^{-\lambda.t}$
- Alors $A(t) = A_0.e^{-\lambda.t}$ c'est la loi de l'activité

Remarques :

La courbe de la loi de l'activité A(t) a la même forme que la courbe de la loi de décroissance exponentielle N(t), mais attention ce n'est pas le même phénomène. A(t) peut également être vue comme une «vitesse de désintégration». Une autre définition de la demi-vie peut donc être : durée au bout de laquelle l'activité initiale d'un échantillon a été divisée par 2

Lors de la catastrophe de Tchernobyl, du césium 134 et du césium 137 ont été libérés dans l'atmosphère.

1. Le césium 134 est radioactif β^- *. Écrire les lois de conservation intervenant dans cette réaction et l'équation bilan* de désintégration, en précisant les produits formés.

Conservations des nucléons (somme des nombres de masses), de la charge (somme des numéros atomiques)

$$^{134}_{55}Cs \longrightarrow {}^{134}_{56}Ba + {}^{0}_{-1}e$$

2. La période du césium 134 est T= 2 ans. En déduire la constante radioactive λ. Au bout de combien de temps 99 % du césium 134 libéré seraient-ils désintégrés ?

λ= ln2 / T = 0,347 an^{-1} ; si 99% ont été désintégrés, le pourcentage de noyaux restant N/N_0 = 100-99 = 1 donc N/N_0 = 1% = 0,01

Comme $N_t = N_0.e^{-\lambda.t}$ avec : N_0 = 100% . Ce qui donne t = - 1/λ.ln(N/N_0) = 13,28 ans

Il faudrait 13,28 ans pour que 99% du césium 134 soient désintégrés.

3. Répondre à la question précédente en considérant le césium 137 dont la période est 30 ans.

λ= ln2 / T = 2,31. 10^{-2} an^{-1} ; N/N_0= 0,01 donc t = - 1/λ.ln(N/N_0)) = 199,4 ans

Il faudrait 199,4 ans pour que 99% du césium 137 soient désintégrés.

Exercice :

L'iode est indispensable à l'organisme humain. Il participe à la synthèse des hormones thyroïdiennes. L'assimilation de cet iode 127 non radioactif se fait sous forme d'ions iodure dans la glande thyroïde. Lors des accidents nucléaires, il y a émission dans l'atmosphère d'iode 131, radioactif β^- de demi-vie t1/2 = 8,1 jours. Lors de sa désintégration l'iode 131 donne du Xénon (Xe).

1. Écrire l'équation de désintégration de l'iode 131.
2. La population vivant dans les environs des centrales nucléaire a reçu des comprimés d'iode 127 (sous forme d'iodure de potassium) à prendre en cas d'accident nucléaire. Justifier cette mesure.
3. L'iode 131 est aussi utilisé en médecine, par exemple pour l'examen par scintigraphie des glandes surrénales. Déterminer l'activité A1 de m = 1,0g d'iode 131.
4. Sachant que pour cet examen il faut une solution d'iode 131 d'activité A_0 = 37 MBq. Quelle est alors la masse m' d'iode 131 injectée au patient?
5. Tracer la courbe de décroissance de l'activité du produit injecté au cours du temps et déterminer graphiquement la date t où l'activité sera divisée par 10.

Données: Iode 131: $^{131}_{53}I$ et Constante d'Avogadro: NA = 6,02.1023 mol^{-1}

Correction :

1. L'équation de la désintégration de l'iode 131est: ${}^{131}_{53}I \longrightarrow {}^{131}_{54}Xe + {}^{0}_{-1}e$

2. L'iode 131, comme l'iode 127, se fixe sur la glande thyroïde. Il y a donc un danger pour les voisins des centrales nucléaires en cas d'accident. Pour éviter ce danger, on fait absorber de l'iode 127 non radioactif, à une dose telle que la glande thyroïde soit saturée. Cette glande ne fixe alors plus l'iode 131 radioactif.

3. L'activité A est proportionnelle au nombre de noyaux radioactifs. Alors:

$$A_1 = \lambda N \quad \text{et} \quad N = \frac{m\,N_A}{M}$$

d'où: $$A_1 = \frac{\lambda\, m\, N_A}{M} \Rightarrow A_1 = \frac{Ln2\, m\, N_A}{t_{1/2}\, M} \Rightarrow A_1 = \frac{Ln2 x 1{,}0 x 6{,}02.10^{23}}{8{,}1 x 24 x 3600 x 131}$$

$$\Rightarrow A_1 = 4{,}6.10^{15}\ Bq$$

4. L'activité étant proportionnelle au nombre de noyaux radioactifs, elle est aussi proportionnelle à la masse de l'échantillon. On a alors:

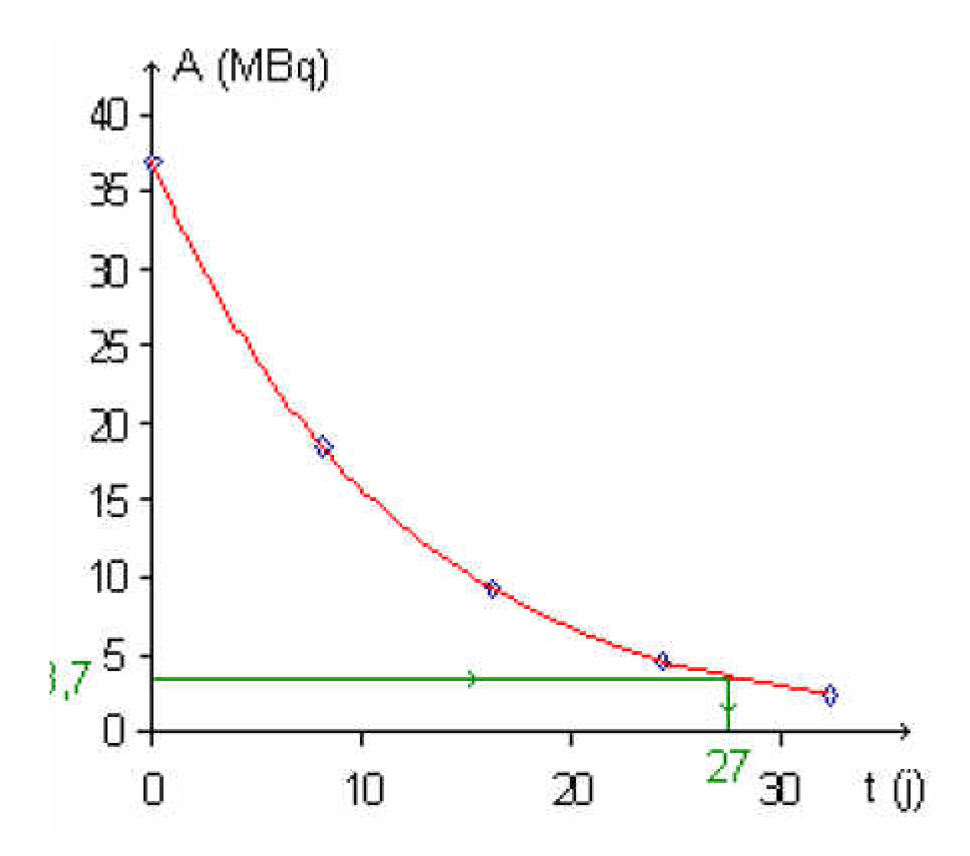
$$m' = \frac{m\, A_0}{A_1} \Rightarrow m' = \frac{1{,}0 x 37.10^{6}}{4{,}6.10^{15}}$$

$$\Rightarrow m' = 8{,}0.10^{-9}\ g$$

5. Pour tracer la courbe il faut quelques points. Prenons les points suivants:

t (j)	0	$t_{1/2}$ = 8,1	$2t_{1/2}$ = 16,2	$3t_{1/2}$ = 24,4	$4t_{1/2}$ = 32,4
A (MBq)	37	18,5	9,3	4,6	2,3

La courbe est donnée ci-dessous et par lecture graphique, pour A=3,7MBq on lit: t=27j.



Remarque: Le calcul direct conduit au même résultat. En effet:

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow e^{-\lambda t} = \frac{A}{A_0}$$

$$\Rightarrow -\lambda t = Ln(A/A_0)$$

$$\Rightarrow t = \frac{Ln(A_0/A)}{\lambda}$$

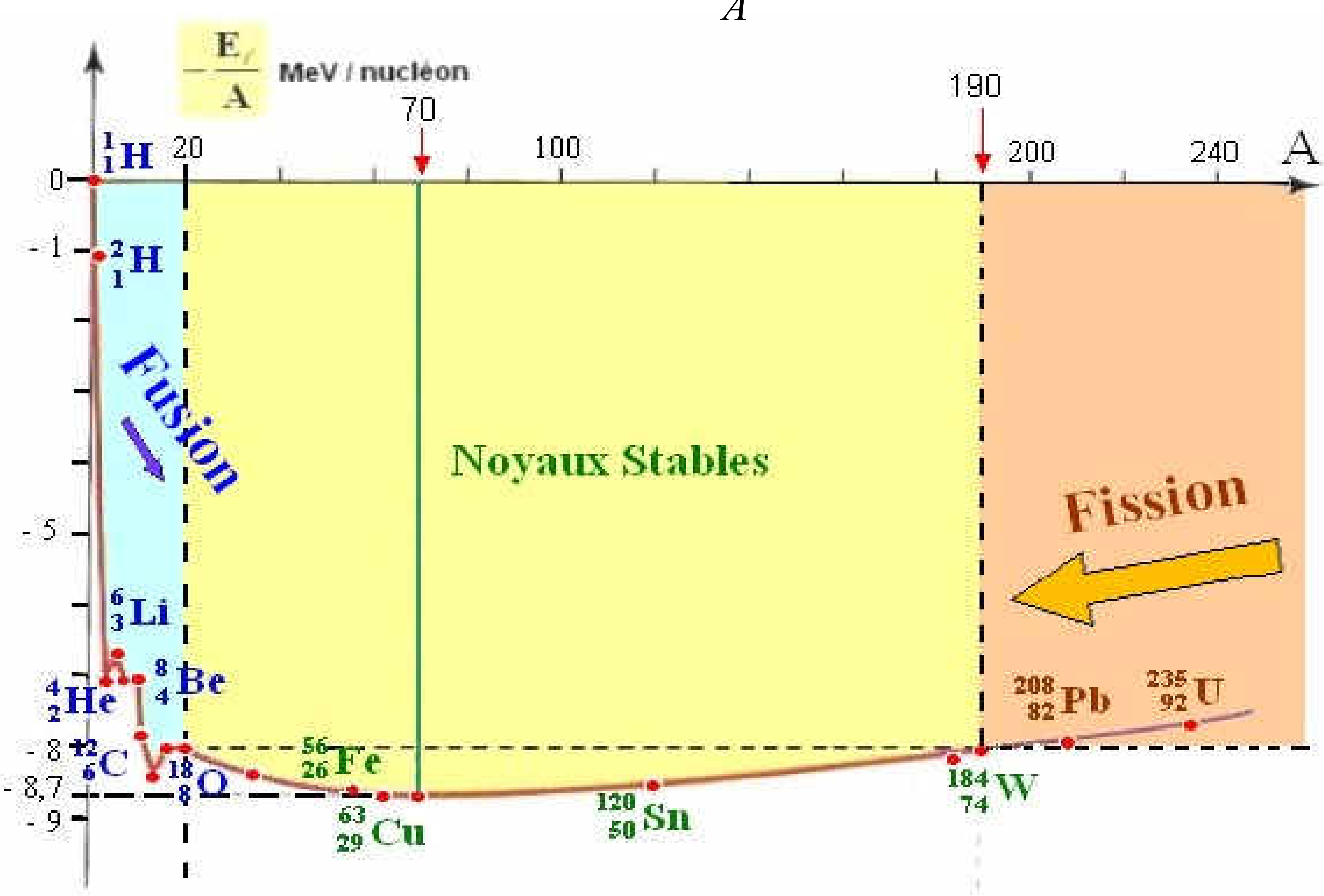
$$A = \frac{A_0}{10} \Rightarrow \frac{A_0}{A} = 10$$

$$t = \frac{t_{1/2}\, Ln10}{Ln2} \Rightarrow t = \frac{8,1 \times Ln10}{Ln2}$$

$$\Rightarrow t_{1/2} = 27\ j$$

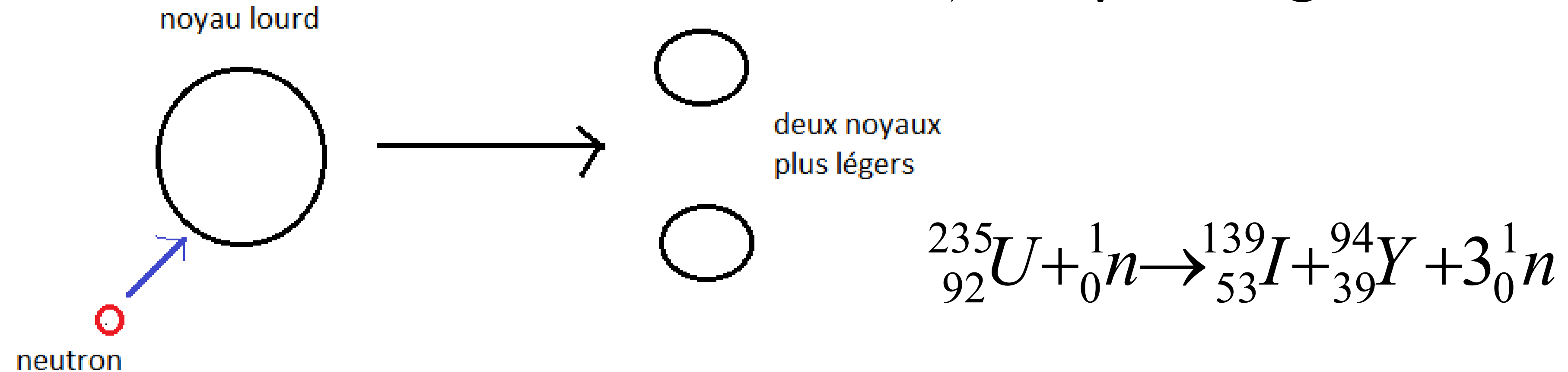
Diagramme d'Aston

$$\frac{E_l}{A} = f(A)$$



Fission nucléaire

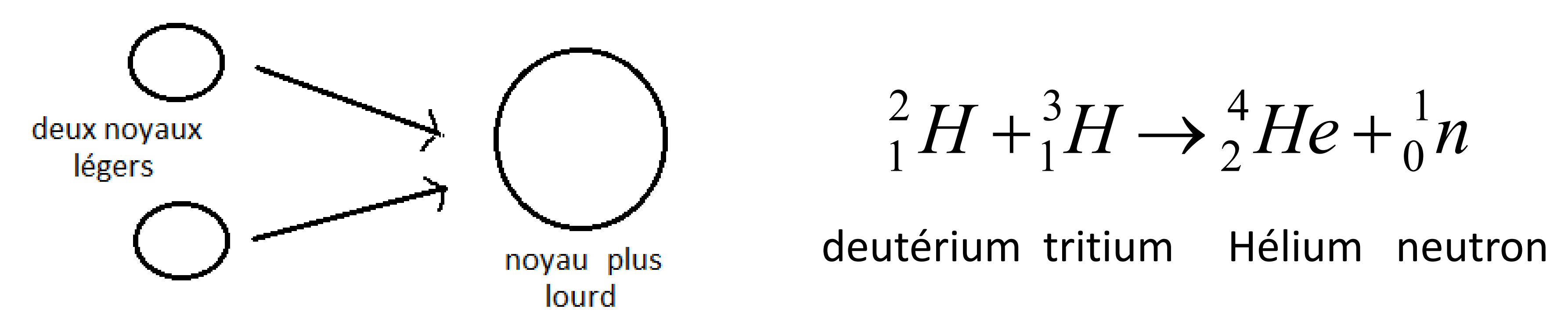
- Un noyau lourd (A>190) éclate sous l'effet d'un neutron pour donner deux noyaux plus légers



- Réaction utilisée dans les centrales nucléaires pour produire de l'électricité (elle est très rare naturellement).
- $\Delta E=\Delta m.c^2= [m(I)+m(Y)+ 3.m(n) - m(U)-m(n)].c^2$.
- est l'énergie libérée par cette réaction de fission nucléaire.

Fusion nucléaire

- Deux noyaux légers fusionnent pour donner naissance à un noyau plus lourd

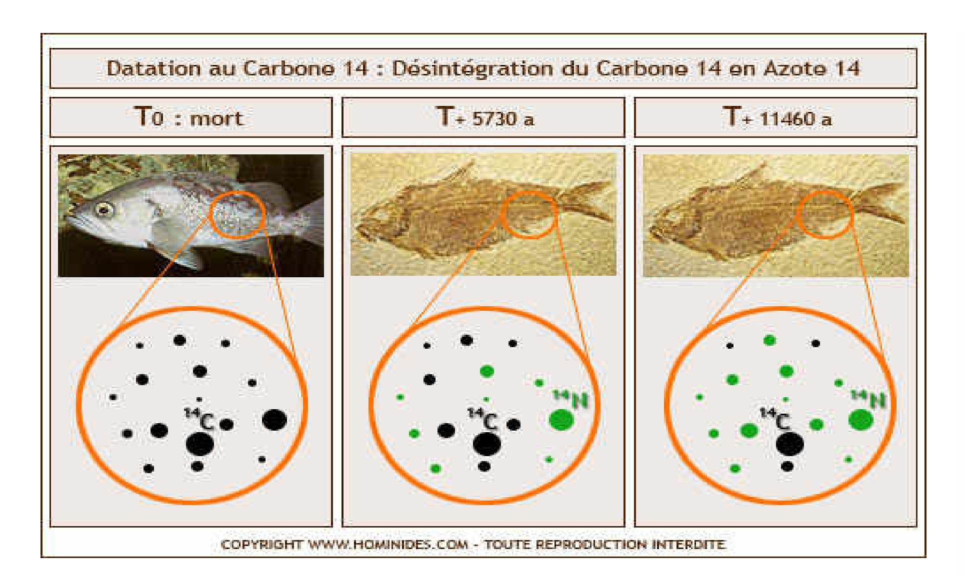


$${}^{2}_{1}H + {}^{3}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}n$$

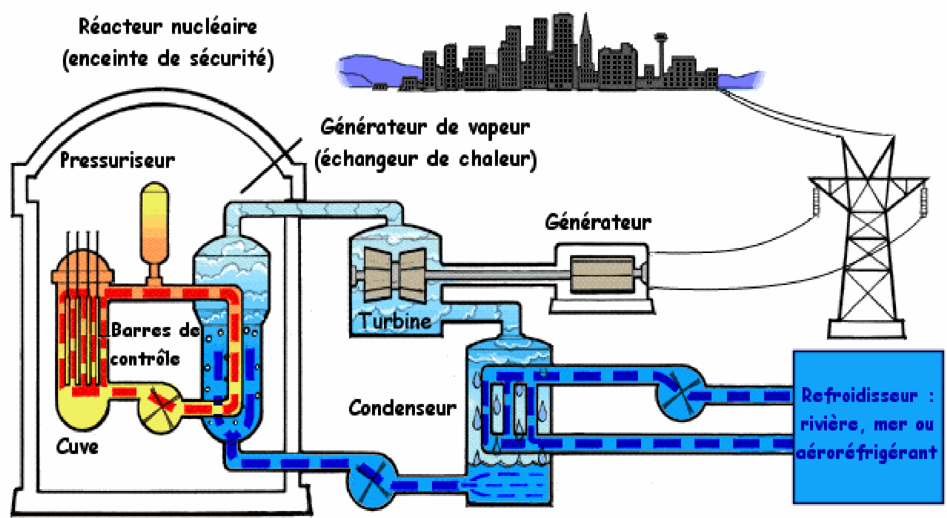
- La bombe H provient de cette fusion nucléaire
- Réaction produite aussi naturellement dans le soleil permettant la production de l'énergie solaire (lumière et chaleur) et dans d'autres étoiles également.
- La fusion nucléaire produit plus d'énergie que la fission nucléaire.

Applications

Datation par le carbone 14



Réacteur nucléaire
Production d'électricité



Médecine nucléaire

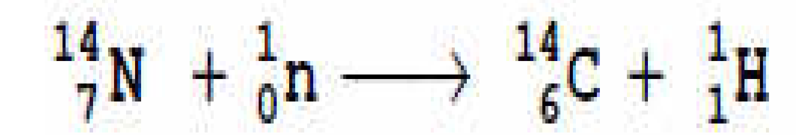


Bombe atomique



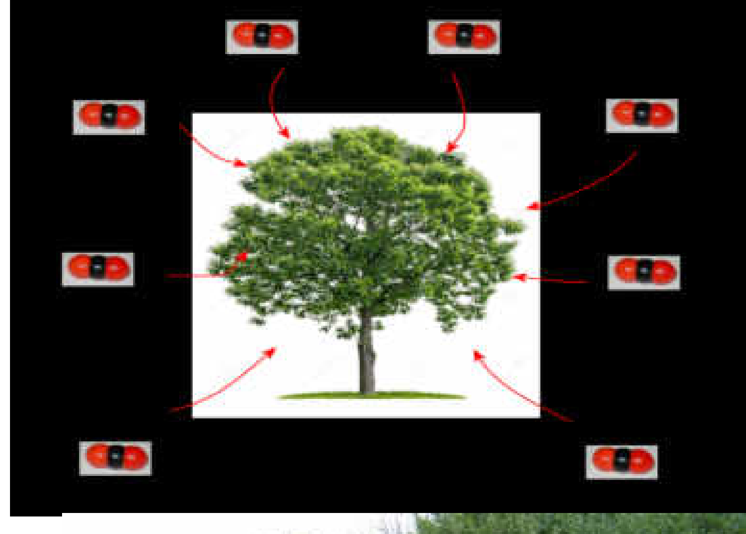
Datation par le carbone 14

Le carbone 14 est radioactif de demi-vie 5568 ± 30 ans. Il se forme en permanence dans l’atmosphère par une réaction nucléaire des neutrons cosmiques avec les atomes d’azote 14



Cette réaction produit autant de noyaux ^{14}C qu’il ne s’en désintègre pendant le même temps.

$\frac{^{14}C}{^{12}C}$ est constant dans l’atmosphère.

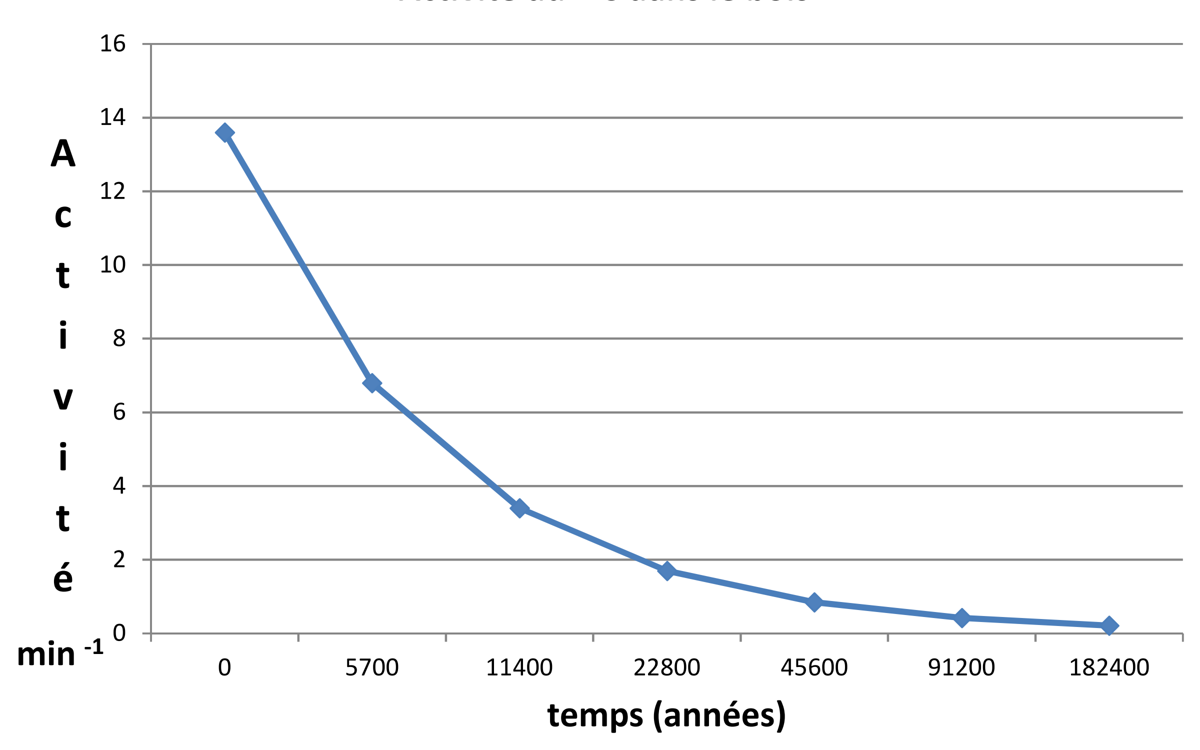


Tant que le végétal est vivant, il absorbe du CO_2 et son taux de carbone 14 est constant, égal à celui de l’air.



À la mort de l’arbre, les échanges de CO_2 s’arrêtent et l’activité du carbone 14 diminue au cours du temps:

t(années)	A(min^{-1})
0	13,6
5700	6,8
11400	3,4
22800	1,7
45600	0,85
91200	0,425
182400	0,21



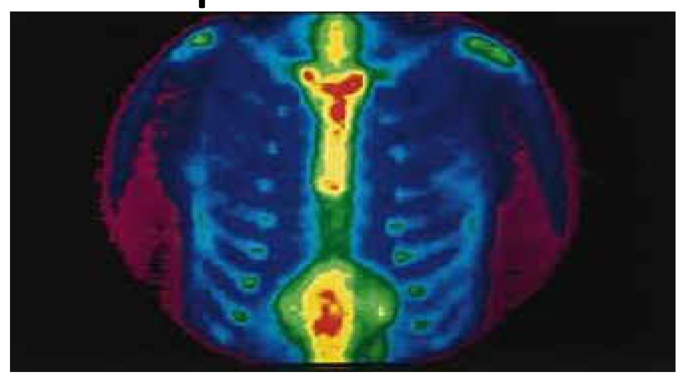
Carbone 14 pourrait servir pour la datation d'un foyer préhistorique



Médecine nucléaire

Certains isotopes radioactifs (radio-isotopes) peuvent servir à diagnostiquer le disfonctionnement d'organes du corps humain. Ils sont appelés : marqueurs ou traceurs radioactifs. Le traceur en mouvement ou immobilisé sur un endroit du corps se désintègre, et les particules ou les rayonnements émis sont détectés.

Exemple de tracteurs :



$_{44}$Tc-99m (Technétium de faible demi-vie : 6 h) : Imageries des organes vitaux (foie, poumons, cœur, …) et du squelette

^{85}Sr Imagerie du cerveau

^{131}I Imagerie de la thyroïde (goitre)

^{141}Ce Mesure du flux sanguin ; examen gastro-intestinal



Réacteur nucléaire – Production d'électricité

L'uranium ^{235}U enrichi à ^{238}U (97%) est utilisé comme combustible dans les centrales nucléaires. L'énergie de la réaction de fission permet de produire de la vapeur, qui fait tourner des turbines liées à des dynamos. La rotation des ces derniers génèrent l'électricité.

La fission des atomes d'uranium engendre de la chaleur

→ Grâce à cette chaleur, on fait chauffer de l'eau

→ L'eau ainsi chauffée permet d'obtenir de la vapeur

→ La pression de cette vapeur fait tourner une turbine

→ La turbine entraîne un alternateur qui produit de l'électricité

Bombe atomique

L'énergie dégagée par la bombe atomique provient de la réaction de fission de l'isotope de l'uranium ^{238}U :

$$^{238}U \rightarrow {}^{234}Th + {}^{4}He$$

La perte de masse (Δm) qui accompagne la fission d'une mole de ^{238}U, à savoir 238,0003 g, est égale à -0.0046 g, et l'énergie dégagée dans ce cas est : $E = |\Delta m| x c^2 = 414.10^9$ J = 414 GJ. Cette énergie est équivalente à 195000 bâtons de dynamite.

La bombe atomique dégage une énergie égale à 67 TJ ($67x10^{12}$J) et s'accompagne d'une perte de masse de 750 mg.